

## Combination power plant of e.g. high temp solid oxide fuel cell (SOFC) and heat engine

**Publication number:** DE19636738

**Publication date:** 1998-03-12

**Inventor:** NOELSCHER CHRISTOPH DR RER NAT (DE)

**Applicant:** SIEMENS AG (DE)

**Classification:**

- international: *F02G1/043; F02G1/055; H01M8/04; H01M8/06; H01M8/12; H01M8/24; H01M8/02; F02G1/00; H01M8/04; H01M8/06; H01M8/12; H01M8/24; H01M8/02; (IPC1-7): F24J1/00; F24J3/00; H01M8/12*

- European: *F02G1/043; F02G1/055; H01M8/04B2; H01M8/06B2B; H01M8/12B; H01M8/24B2H*

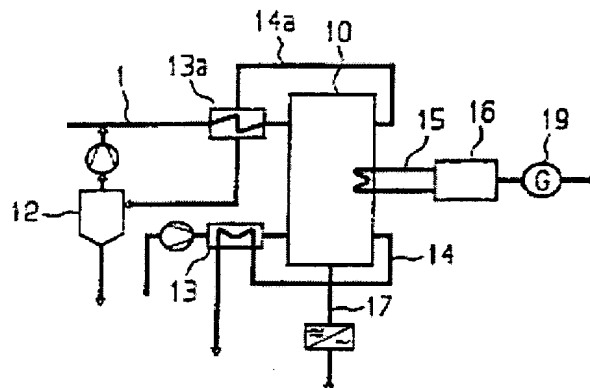
**Application number:** DE19961036738 19960910

**Priority number(s):** DE19961036738 19960910

**Report a data error here**

### Abstract of **DE19636738**

A combination assembly, of a fuel-cell battery and a heat engine e. g. Sterling engine in which lines and areas are provided for feeding in the working medium of the heat engine for heating in a closed system through the interior of the fuel cell. The lines and areas are constructed so that high-pressures (excess pressures) are withstood therein, and if need be, specifically in a supercritical state of the combination assembly, can contain a gas as the working medium, more specifically at a high pressure up to 300 bar.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



⑮ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 196 36 738 A 1

⑤① Int. Cl.<sup>8</sup>:  
**F 24 J 1/00**  
F 24 J 3/00  
H 01 M 8/12

⑳ Aktenzeichen: 196 36 738.7  
㉔ Anmeldetag: 10. 9. 98  
㉕ Offenlegungstag: 12. 3. 98

DE 196 36 738 A 1

㉑ Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

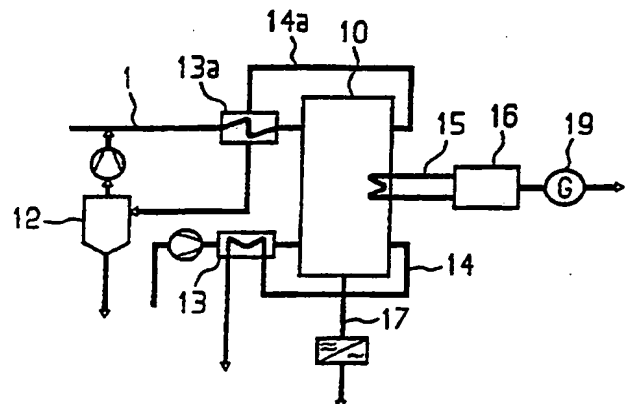
㉒ Erfinder:  
Nölscher, Christoph, Dr.rer.nat., 90419 Nürnberg, DE

⑤⑥ Entgegenhaltungen:  
US 39 82 962

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Kombinationsanlage aus Hochtemperatur-Brennstoffzelle und Wärmekraftmaschine

⑤⑦ Die Erfindung betrifft eine Kombinationsanlage, bei der eine Brennstoffzellenbatterie, bevorzugt eine Hochtemperatur-Brennstoffzellen(HTBZ)batterie, so mit einer Wärmekraftmaschine kombiniert ist, daß die Abwärme aus der HTBZ direkt, d. h. durch Wärmeleitung und/oder -Strahlung zum Beheizen der Wärmekraftmaschine einsetzbar ist. Dazu wird das Arbeitsmedium der Wärmekraftmaschine, bevorzugt ein Gas, zum Erhitzen in einem geschlossenen System durch die HTBZ geführt.



DE 196 36 738 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Kombinationsanlage zur Energieerzeugung, bei der eine Brennstoffzellenbatterie, bevorzugt eine Hochtemperatur-Brennstoffzellenbatterie, mit einer Wärmekraftmaschine kombiniert ist.

Es ist bekannt, daß Brennstoffzellen, insbesondere Hochtemperatur-Brennstoffzellen (HTBZ) mit hohen Wirkungsgraden, chemisch gebundene Energie in elektrische Energie umwandeln können. Bei Hochtemperatur-Brennstoffzellen wird dabei meistens noch die Abwärme der Brennstoffzelle nutzbar gemacht. Die Nutzbarmachung geschieht meist indirekt über ein Kühlmedium, das die Wärme in der Brennstoffzelle aufnimmt und in einem nachgeschalteten Wärmetauscher an ein nächstes Arbeitsmedium überträgt. Es ist leicht einzusehen, daß jeder der Wärmeübertragungsschritte mit Energieverlusten verbunden ist.

Um die Energieverluste zu minimieren, besteht ein Bedarf an der Bereitstellung einer Kombinationsanlage zur Energie- und insbesondere zur Stromerzeugung mit Hochtemperatur-Brennstoffzellen, bei der die Abwärme aus der Brennstoffzellenbatterie ohne zwischengeschaltetes Übertragungsmedium direkt in einer Wärmekraftmaschine nutzbar gemacht werden kann.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, eine Kombinationsanlage zur Erzeugung von Energie zur Verfügung zu stellen, die eine Kombination aus zumindest einem Hochtemperatur-Brennstoffzellen-Energie-wandler und einer Wärmekraftmaschine darstellt, wobei die Abwärme aus der Hochtemperatur-Brennstoffzelle ohne zwischengeschaltetes, flüssiges oder gasförmiges Medium direkt in der Wärmekraftmaschine nutzbar gemacht wird.

Allgemeine Erkenntnis der Erfindung ist, daß eine HTBZ-Batterie so mit einer Wärmekraftmaschine kombinierbar ist, daß die Abwärme aus der HTBZ direkt, d. h. durch Wärmeleitung und/oder -Strahlung zum Beheizen der Wärmekraftmaschine "WKM" einsetzbar ist. Dazu wird das Arbeitsmedium aus der WKM, bevorzugt ein Gas, zum Erhitzen in einem geschlossenen System durch die HTBZ geführt.

Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist deshalb eine Kombinationsanlage, bei der eine Brennstoffzellenbatterie, insbesondere eine Hochtemperatur-Brennstoffzellenbatterie, mit einer Wärmekraftmaschine kombiniert ist, wobei Leitungen und Räume vorgesehen sind, in denen das Arbeitsmedium der Wärmekraftmaschine zu dessen Erwärmung in einem geschlossenen System durch das Innere der Brennstoffzelle geführt wird.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung, den Unteransprüchen, den Figuren sowie den Erläuterungen dazu.

Bevorzugt liegt das Arbeitsmedium der Wärmekraftmaschine gasförmig vor. Wiederum besonders bevorzugt ist dabei, daß das gasförmige Arbeitsmedium im überkritischen Aggregatzustand, d. h. unter so hohem Druck vorliegt, daß es bei Temperaturerhöhung ohne Nebelbildung, d. h. ohne Bildung eines zwei-Phasen-Systems flüssig-dampfförmig in die Dampfphase übergeht. Dabei müssen selbstverständlich die Leitungen und Behältnisse des geschlossenen Systems, in dem das Arbeitsmedium der Wärmekraftmaschine, also im vorliegenden Fall das überkritische Gas, geführt wird, so konstruiert sein, daß sie Überdruck und die hohe Temperatur aushalten.

Als Brennstoffzellen, oder Hochtemperatur-Brennstoffzellen oder "HTBZ" werden hier alle Brennstoffzellen mit einer Betriebstemperatur über 300°C und bevorzugt über 500°C bezeichnet, wobei besonders bevorzugt die SOFC Brennstoffzelle (Solid Oxid Fuel Cell) erfindungsgemäß eingesetzt wird. Die bevorzugte Betriebstemperatur der SOFC beträgt 750°C bis 1000°C.

Als Arbeitsmedium für die Wärmekraftmaschine kann beispielsweise Helium, Wasserstoff, Luft oder Wasserdampf genommen werden. Diese Aufzählung ist nicht abschließend und soll den Umfang der Erfindung nicht beschränken.

Bei der Wärmekraftmaschine kann es sich beispielsweise um einen Stirling-Motor (vgl. Fig. 3), eine Dampfturbine oder eine Gasturbine mit geschlossenem Kreislauf (siehe dazu E. Böhm, K. Bammert: "Hochtemperaturreaktoren mit Heliumturbinen", Atom und Strom Heft 1, Jan. 1970, Seite 13) handeln.

Bei einer Ausgestaltung der Erfindung ist zumindest ein Teil des geschlossenen Systems, in dem das Arbeitsmedium der Wärmekraftmaschine (WKM) geführt wird, räumlich ausgestaltet oder konstruiert wie eine "Vorrichtung zur Wasserstoff- und/oder Synthesegasgewinnung" gemäß der parallel eingereichten Patentanmeldung derselben Anmelderin und desselben Erfinders mit dem internen Aktenzeichen GR 96 E 2106 der Siemens AG, auf deren Inhalt und den der parallelen Anmeldung mit dem Titel "Anlage und Verfahren zur Energieerzeugung" internes Akzt. GR 96 E 2107 hiermit bezug genommen wird und die beide, um unnötige Wiederholungen zu vermeiden, zum Gegenstand der vorliegenden Beschreibung gemacht werden.

Unter den erfindungsgemäß unter Schutz gestellten "Leitungen" werden alle Arten von Rohren und sonstigen Leitungen verstanden, in denen Reaktanden, wie Brennstoff, gegebenenfalls unter hohem Druck und bei hoher Temperatur, geführt werden. Dabei ist es keineswegs zwingend, daß eine Leitung beispielsweise nur aus einem Rohr, Kanal oder einer Nut besteht, vielmehr ist es durchaus möglich, daß eine Leitung aus zwei, gegebenenfalls sogar parallel verlaufenden, Rohren besteht, sowie daß sie unter Umständen über zwischengeschaltete und/oder integrierte Sammelbehälter (Reservoirs), Wäscher, Wärmetauscher, Verdichter, Gasreiniger, etc. verfügt. Der Begriff Leitung wird hier also in einer sehr allgemeinen und, unter Umständen, gegenüber dem Gebrauch in der Alltagssprache stark erweiterten Form gebraucht. Er kann auch Reservetanks und Behälter mitumfassen, die üblicherweise nicht unter den Begriff Leitung fallen, hier aber auch mit dem Begriff gemeint sind.

Im folgenden wird die Erfindung anhand von mehreren Figuren, die bevorzugte Ausgestaltungen zeigen, näher erläutert, wobei

Fig. 1 ein schematisches Schaltbild des Prinzips der Integration einer Wärmekraftmaschine und einer Hochtemperatur-Brennstoffzelle in einer Kombinationsanlage zur Energieerzeugung zeigt,

Fig. 2 eine beispielhafte konstruktive Ausführung einer SOFC im planaren Design zeigt, die Fig. 2A bis 2E nähere Erläuterungen zur Fig. 2 darstellen,

Fig. 3 die Integration eines Stirlingmotors in eine HTBZ schematisch aufzeigt,

Fig. 4 ein Verfahrensfließbild einer erfindungsgemäßen Kombinationsanlage im Wasserstoffbetrieb und Fig. 5 ein weiteres Verfahrensfließbild einer erfindungsgemäßen Kombinationsanlage darstellt.

Fig. 1 zeigt das Prinzip der erfindungsgemäßen Kombination einer Wärmekraftmaschine und einer HTBZ. Von oben nach unten sieht man zunächst die Hochtemperatur-Brennstoffzelle 1 mit drei abgetrennten Räumen, ganz oben den Kathodenraum 2, der durch einen gestrichelt eingezeichneten Elektrolyt 3 vom darunter liegenden Anodenraum 4 abgetrennt ist. Im (direkten) thermischen Kontakt (d. h. durch Wärmestrahlung und/oder Wärmeleitung verbunden) mit dem Anodenraum befindet sich ein Teil der geschlossenen Leitung 5, die bevorzugt ein Gas enthält und die entlang der Leitungen 5, bis zur Wärmekraftmaschine 6 führt. Die Wärmekraftmaschine erzeugt Strom und Heizleistung, die über die Leitungen 9 und 10 abnehmbar sind, und sorgt für den Transport des Arbeitsmediums. Die HTBZ 1 erzeugt Strom, der über die Leitungen 7 abnehmbar ist. Den Kathodenraum 2 und den Anodenraum 4 der HTBZ 1 durchströmen z. B. von links nach rechts (Pfeile 8 und 11) das Oxidans, beispielsweise Luft oder mit Sauerstoff angereicherte Luft, und der Brennstoff, beispielsweise Synthesegas (CO/Wasserdampf-Gemisch) oder Wasserstoff.

Durch die erfindungsgemäß abgeschlossene Leitung 5, die die Leitungen 5' mitumfaßt, kann das Arbeitsmedium in einem Kreislauf, der größere Behältnisse in der HTBZ und in der Wärmekraftmaschine enthält, geführt werden. Die Leitungen 5', jeweils durch die Doppelpfeile angedeutet, können beliebig geschaltet sein, so daß sie das Arbeitsmedium unabhängig von der Strömungsrichtung (Pfeile 8 und 11) der Reaktionsgase Oxidans und Brennstoff in beiden Richtungen transportieren können.

Das bevorzugt, aber nicht unbedingt, gasförmige Arbeitsmedium der Wärmekraftmaschine 6, das durch den in die HTBZ integrierten aber gastechnisch abgeschlossenen Raum 5 und 5' fließt, wird in der HTBZ auf hohe Temperatur gebracht. In der Wärmekraftmaschine 6 wird es dann wieder abgekühlt, wobei es Arbeit leistet und wodurch es als Kühlmedium für die HTBZ regeneriert wird. So arbeitet die Wärmekraftmaschine direkt als Kühler für die Hochtemperatur-Brennstoffzelle und diese umgekehrt direkt als Erhitzer für die HTBZ. Die Wärmekraftmaschine liefert entweder über den Generator G Strom, oder über eine Maschine, z. B. einen Luftverdichter, mechanische Energie.

Fig. 2 zeigt eine beispielhafte konstruktive Ausführung einer SOFC Brennstoffzelle im planaren Design (in einer Projektion parallel zur aktiven Fläche), d. h. die aktiven Flächen der Brennstoffzellen sind planar und nicht — beispielsweise — röhrenförmig. Die hier gezeigte konstruktive Ausführung ist u. a. anwendbar auf das Multiple Cell Array Concept der Siemens AG, das u. a. in der Patentschrift von Greiner et al. Aktenzeichen EP 0 425 939 näher beschrieben ist.

In Fig. 2 ist eine Ausführung mit externem Manifolding von Luft dargestellt, d. h. Luft wird jeder Zelle von außen zugeführt und von jeder Zelle nach außen hin entsorgt. Darüber hinaus zeigt die Figur internes Manifolding von Brenngas, d. h. die Verteilung auf oder Entsorgung von den einzelnen Zellen erfolgt in Kanälen, die in den Stapel integriert sind.

In der Fig. 2 sind die gezeigten Teile der geschlossenen Leitung 5, in der sich das Arbeitsmedium der Wärmekraftmaschine befindet (wobei letztere in der Figur selbst nicht gezeigt ist) in den von oben nach unten, d. h. parallel zur aktiven Fläche, verlaufenden Kanäle 5 repräsentiert. Die Kanäle 5 sind als Rohre ausgebildet, die in Rinnen der bipolaren Platten, die sich zwischen zwei aufeinanderliegenden Brennstoffzellen eines Brennstoffzellenstapels befinden, z. B. eingefügt oder eingelötet sind. Die Erhitzung des in den Rohrleitungen 5 enthaltenen, beispielsweise gasförmigen, Arbeitsmediums geschieht über die Bipolarplatten, die direkt mit den Rohrleitungen 5 und dem Inneren der HTBZ in Kontakt stehen.

Fig. 2A zeigt einen kleinen Ausschnitt aus Fig. 2, nämlich das linke obere Eck. Zu erkennen ist wiederum die Leitung 5, die über ein geschlossenes System die HTBZ thermisch mit der Wärmekraftmaschine verbindet und in der das Arbeitsmedium, das bevorzugt gasförmig ist, geführt wird. Bei der vorliegenden Ausgestaltung der HTBZ als SOFC werden die beiden Reaktionsgase der SOFC, nämlich Oxidans (Luft) und Brenngas im Kreuzstrom geführt. So ist in Fig. 2A durch den Pfeil 8 von oben nach unten das Anströmen des Brenngases auf die aktiven Flächen der HTBZ gekennzeichnet, und von links nach rechts, gekennzeichnet durch den Pfeil 8', die Zufuhr an Oxidans. Dargestellt ist die Projektion auf die aktiven Flächen der Brennstoffzellen. Eingezeichnet sind verschiedene Schnittlinien A, B, C und D, die jeweils die Lage der Querschnitte angeben, die die folgenden Fig. 2B bis 2E zeigen.

Fig. 2B zeigt den Querschnitt durch die Leitung 5 entlang der Linie A (aus Fig. 2A), der senkrecht zur Zeichenfläche in Fig. 2A verläuft. Im Inneren der Leitung 5 fließt das Arbeitsmedium von der Wärmekraftmaschine in Richtung des Pfeiles 17 und wird jeweils entlang der Bipolarplatte 19 oder Endplatte 19a geführt. Die Leitungsrohre 5 sind, ebenso wie die Bipolarplatten oder Zwischenelemente 19 und 19a, aus thermisch leitfähigem Material und in direkten thermischen Kontakt miteinander und dem Anoden- und/oder Kathodenraum der HTBZ, der gekühlt werden muß. Als Abstandshalter, die durch ihre elektrische Isolation einen Kurzschluß benachbarter Platten verhindern, sind Teile 20 (z. B. aus  $ZrO_2$  oder anderer Keramik) eingelegt. Das in den Rohren 5 strömende Arbeitsmedium wird über die direkte Wärmeübertragung vom Anoden-/Kathodenraum auf die Bipolarplatten 19 und von dort auf die Rohrleitungen 5 beheizt. Beim Anfahren (Aufheizen) des Blockes oder der Batterie kann über diese Leitungen auch eine Aufheizung erreicht werden, z. B. in dem — im Falle der Verwendung eines Stirlingmotors — die Wärmekraftmaschine zu Beginn als Wärmepumpe arbeitet.

Fig. 2C zeigt den Querschnitt entlang der Schnittlinie B (aus Fig. 2A), der senkrecht zur Zeichenfläche verläuft. Von links nach rechts sieht man zunächst schraffiert gezeichnet den Raum 4, in dem sich das Brenngas, also beispielsweise die Wasserstoff, befindet. Im Anschluß daran ist durchgehend schwarz gezeichnet wieder die Bipolarplatte 19, die ihrerseits den Kathodenraum 2 begrenzt, der in der Gegenrichtung schraffiert zum Raum 4 gekennzeichnet ist. Darin befindet sich das Oxidans, also beispielsweise Luft. Die Stege dienen zur elektrischen Kontaktierung der Kathode und zur Gasführung. Oben bei der Bipolarplatte 19 schließt die Dichtung und elektrische Isolation 21 an, die bereits aus Fig. 2B mit einfachem Karomuster bekannt ist. Im Anschluß daran

befindet sich die Kathode 25, der Elektrolyt 26 und die Anode 27. Angrenzend an die Anode 27 ist wieder der Anodenraum 4, in dem der Brennstoff strömt, zu sehen, an den dann wiederum die Bipolarplatte 19 mit dem Kathodenraum 2 mit Oxidans, der Kathode 25, dem Elektrolyten 26 und der Anode 27 mit der Dichtung 21 anschließt.

Fig. 2D repräsentiert den Schnitt C, wie er in Fig. 2A dargestellt ist. Zu sehen ist — wieder von links nach rechts — der Kathodenraum 2, den das schraffiert gezeichnete Oxidans einnimmt, daneben die schwarz gezeichneten Bipolarplatten 19, die mit einfachem Karo gekennzeichnete Dichtungen 21 und den von den Bipolarplatten 19 und der Anode 27 eingeschlossenen Raum 4, in dem sich der Brennstoff befindet. Man erkennt wiederum den Elektrolyten 26 und durch einfachen vertikale Linien gekennzeichnet die Kathode 25. Als Kreise gezeichnet sind die Rohre 5, die die Leitungen des geschlossenen Systems, das auch durch die Wärmekraftmaschine führt, bezeichnen. Im Innenraum der punktiert eingezeichneten Rohre 5 fließt senkrecht zur Zeichenebene das Arbeitsmedium 17. Gut zu erkennen ist in Fig. 2D, in wie weit die Bipolarplatten 19 die Rohre 5 umschließen, wodurch der Grad an direkter Wärmeübertragung zwischen den Bipolarplatten 19, die die Innentemperatur der HTBZ haben, und dem Arbeitsmedium der Wärmekraftmaschine, das in den thermisch leitfähigen Rohren 5 strömt, deutlich wird. Die Rohre 5 können z. B. eingelötet sein.

Fig. 2E zeigt wiederum eine Schnittfläche aus Fig. 2A, den Schnitt D parallel zu Schnitt C, bei dem die Anode 27 der Elektrolyt 26 und die Kathode 25 zu erkennen ist. Weiterhin sind die Bipolarplatten oder Zwischenelemente 19 sowie der Kathodenraum, in dem sich das Oxidans 2 befindet, zu sehen. Oberhalb der Anode 27 liegt der Anodenraum 4, in dem sich das Brenngas befindet. Im Unterschied zur Fig. 2D sind hier die Dichtungen 21 bis zu den Rohren 5 hin ausgebildet, um den Abstand benachbarter Zellen einzustellen.

Fig. 3 zeigt das Prinzip eines Stirling-Motors, der an die HTBZ angeschlossen ist, deren Kühlsystem er liefert und dessen Erhitzer die HTBZ ist. Von links nach rechts ist zunächst links der Kompressionskolben 1 zu sehen, der sich in beiden Richtungen des Pfeiles 2 hin- und herbewegen kann. Rechts vom Kompressionskolben 1 befindet sich das, bevorzugt gasförmige, Arbeitsmedium im Kompressionsraum 3 des Stirlingmotors. Dieses Arbeitsgas wird über den Kühler 4 und den Regenerator 5 in gastechnisch abgeschlossenen, aber in der Anlage oder Batterie integrierten Gasräumen der angeschlossenen Brennstoffzelle erhitzt. Beispielsweise können solche integrierten Gasräume, die Rohre 5 aus der Fig. 2 sein, in denen das Arbeitsgas im geschlossenen System durch die Brennstoffzelle geleitet wird. Die integrierten Gasräume sind hier nur schematisch mit den Bezugszeichen 6 dargestellt. Ebenfalls sehr schematisch angedeutet ist die Hochtemperatur-Brennstoffzelle als Quadrat 7. Unterhalb der Brennstoffzelle 7 befindet sich der Expansionsraum 8, mit dem Kolben 10, der in die Richtung des Pfeiles 9 hin- und herbewegt werden kann.

Bei einem idealen Kreisprozeß ist am Startpunkt eines Zyklus der Kompressionsraum 3 expandiert und der Expansionsraum 8 komprimiert. Dann komprimiert der Kompressionskolben 1 isotherm bei der Kühltemperatur (fast alles Arbeitsgas ist im kühlen Bereich, weil das Volumen des Expansionsraumes nahezu gleich Null ist = Expansionsraum ist komprimiert). Bevor alles Arbeitsgas komprimiert ist, bewegen sich beide Kolben 1 und 10 so, daß das Arbeitsgas durch Regenerator 5 und Erhitzer 7 in den heißen Bereich 8 geschoben wird. Als Erhitzer 7 wird hier, wie gesagt, die Hochtemperatur-Brennstoffzelle bezeichnet. Als Regenerator 5 wird beispielsweise ein hierfür üblicher Wärmespeicher bezeichnet, der beim Durchströmen des Arbeitsgases Wärme aufnimmt oder abgibt. Das Arbeitsgas wird sowohl im Regenerator 5 als auch in den integrierten Gasräumen 6 der Brennstoffzelle 7 erhitzt und der Druck steigt deshalb weiter an. Schließlich ist der Kompressionskolben 1 am Anschlag und der Expansionskolben 10 expandiert isotherm und leistet dabei Arbeit. Durch die Bewegung beider Kolben wird das Arbeitsgas auch dann in den kühlen Bereich 4 geschoben, bevor der Kompressionskolben seine Arbeit von vorne beginnt. Die dafür notwendige mechanische Energie ist geringer als die bei der Expansion auf hoher Temperatur gewonnene und wird in der Regel durch die Schwungmasse eines Kurbeltriebs aufgebracht. Die Frequenz des Kreisprozesses beträgt ca. 800 bis 3500 Umdrehungen pro Minute. Im Unterschied zu dem gezeigten Fall treten bei einem herkömmlichen Stirlingmotor Verluste beim Beheizen des Erhitzers mit Rauchgas einer Verbrennung oder mit Heißluft auf, da bei einer Erhitzung mit heißem Gas nur ein Teil der Enthalpie genutzt werden kann, der durch Abkühlung auf die Erhitzer-temperatur abgegeben wird. Es handelt sich dabei wieder um einen klassischen Fall, wo eben die Nutzung der Abwärme durch Übertragung auf Zwischenmedien bzgl. ihres Wirkungsgrades stark beeinträchtigt wird.

Fig. 4 zeigt ein Verfahrensflißbild einer erfindungsgemäßen Kombinationsanlage im Wasserstoffbetrieb. Von links nach rechts ist zunächst die Leitung 1, in der Wasserstoff transportiert wird, zu sehen. Diese Leitung führt durch einen Wärmetauscher, der den Wasserstoff auf die Eingangstemperatur der Hochtemperatur-Brennstoffzelle 10 bringt. Die HTBZ 10 umfaßt einen Anoden- und Kathodenraum durch die thermisch integrierte, aber gastechnisch getrennte, isolierte, integrierte-Gasräume und -leitungen "IGR" 15 führen. Solche integrierte Gasräume können beispielsweise wieder die Rohre 5 aus Fig. 2 oder die Reaktionsräume für die Wasserstoff- oder Synthesegasgewinnung aus der bereits zitierten parallelen Anmeldung (internes Siemens-Aktenzeichen GR 96 E 2106) darstellen.

Die Wärmekraftmaschine 16 kann über die Leitung 19 und den Generator G Strom liefern. Ebenso liefert die Hochtemperatur-Brennstoffzelle 10 über die Leitung 17 Strom. Über die Leitungen 14a und 14 wird die HTBZ mit Brenngas und/oder Oxidans versorgt. Das Brenngas und/oder Oxidansabgas wird, wie die Wärmetauscher 13a und 13 zeigen, zumindest thermisch genutzt. Im Fall des Brennstoffs (Leitung 14a) wird das wasserstoffreiche Abgas in das Wasserstoffreservoir 12 geleitet.

Im folgenden wird anhand einer Rechnung zur Abschätzung des Systemwirkungsgrades einer erfindungsgemäßen Anlage zur Energieerzeugung offenbart, wie überraschend hoch der Gesamtwirkungsgrad einer solchen Kombinationsanlage ist:

Die Abschätzung des Wirkungsgrades einer mit Wasserstoff betriebenen SOFC, wie in Fig. 4 dargestellt, lautet wie folgt: Zugrunde liegen die Bedingungen: Zellspannung 0,85 Volt, 80% Brenngasausnutzung, Brennstoffein-

satz 22,92 MW (76 Mol  $H_2$  pro Sekunde), Bruttostromerzeugung  $(0,85/1,25) \cdot (22,92 \cdot 0,8) = 12,47 \text{ MW}_{el}$ , Wechselrichterverluste  $0,62 \text{ MW}_{el}$ , Hilfsenergie für die Luftverdichtung  $1,86 \text{ MW}$ , die so ausgelegt ist, daß bei einer Erwärmung um  $\Delta T = 200^\circ \text{C}$  eine ausreichende Kühlung erfolgt. Daraus ergibt sich ein elektrischer Nettowirkungsgrad für den umgesetzten Brennstoff von

$$\eta_{el,H_2SOFC} = [12,47 - 0,62 - 1,86] \text{ MW} / [22,92 \text{ MW} \cdot 0,8] = 54,5\%$$

(Nichtverbraucher  $H_2$  kann nach Produktwasserabtrennung wieder zugeführt und mit gleichem  $\eta$  umgesetzt werden. Die Wasserstoffverdichtung kostet  $0,06 \text{ MW}_{el}$ ). An Abwärme fällt in der SOFC eine Leistung von  $22,9 \text{ MW} \cdot 0,8 \cdot (1,25 \text{ V} - 0,85 \text{ V}) / 1,25 \text{ V} = 5,86 \text{ MW}_{th}$  an. Davon trägt das Anodenabgas  $0,70 \text{ MW}$ , 834 Mol Luft/sec den Rest aus der SOFC. Im Fall einer Kühlung mit WKM (Wärme-Kraft-Maschine) wird der Luftdurchsatz minimiert auf 7,4 Mol %  $O_2$  im Kathodenabgas. Das entspricht 251 Mol Luft/sec am Kathodeneingang und einem Wärmeabtransport durch 213 Mol Abluft/sec von  $1,32 \text{ MW}_{th}$ . Der Energiebedarf für die Luftverdichtung sinkt auf  $(251/834) \cdot 1,86 \text{ MW}_{el} = 0,56 \text{ MW}_{el}$ , d. h. die Verluste werden um  $1,30 \text{ MW}_{el}$  reduziert. Wegzukühlen bleiben  $5,86 - 0,70 - 1,32 \text{ MW}_{th} = 3,84 \text{ MW}_{th}$ . Hierfür wird eine WKM mit Nettowirkungsgrad von 40% angenommen. Daraus ergibt sich eine elektrische Zusatzleistung von  $1,54 \text{ MW}_{el}$  bzw.

$$\eta_{el,H_2SOFC/WKM} = [12,47 - 0,62 - 0,52 + 1,54] \text{ MW} / [22,92 \text{ MW} \cdot 0,8] = 70,2\%.$$

Die Wirkungsgradverbesserung wurde hiermit zu ca. 15% Punkten abgeschätzt, das zugehörige Verfahrensfließbild zeigt Fig. 4.

Fig. 5 zeigt wieder ein Verfahrensfließbild einer erfindungsgemäßen Kombianlage. Von links nach rechts ist zunächst zentral in der Mitte mit der Bezugsziffer 1 die Brennstoffzelle mit internem Reformer, beispielsweise eine SOFC mit Reformer, abgekürzt eine "SOFCR" zu sehen, die gastechnisch an die weiter rechts stehende Brennstoffzelle SOFC 2, die mit reinem Wasserstoff betrieben wird ( $H_2$ SOFC), angeschlossen ist. An die SOFC 2 wiederum ist die Wärme-Kraft-Maschine 6 angeschlossen. Jedes Teil dieser Kombianlage, also sowohl die Brennstoffzelle 1 mit internem Reformer als auch die mit reinem Wasserstoff betriebene SOFC 2 und auch die Wärme-Kraft-Maschine 6 liefern über die jeweils mit 7 gekennzeichneten Leitungen Strom an die Nutzer. Über die jeweils mit 9 gekennzeichneten Leitungen wird Abluft aus dem Kathodenkreislauf, der hier nicht weiter erläutert wird, abgeführt.

Das Oxidans für den Kathodenkreislauf von HTBZ 1 wird über die Leitung 5 am linken äußeren Rand des Verfahrensfließbildes eingespeist. Oberhalb der Leitung 5 bei der Leitung 13 strömt Erdgas oder anderes Feedgas in das System und zunächst in den integrierten Reformer der HTBZ 1. Vor Einleitung in die HTBZ 1 wird dem Feedgas Wasserdampf und Anodenabgas aus der SOFC 2 beigemischt und über den rekuperativen Wärmetauscher 14 auf die Betriebstemperatur der Hochtemperatur-Brennstoffzelle erwärmt. Nach Abkühlung des  $H_2$  und  $CO$ -haltigen Anodenabgases, wobei  $CO$  mit  $H_2O$  zu  $H_2$  und  $CO_2$  konvertiert wird dieses über die Leitung 20 in den  $H_2$ -Konzentrator 15, also ein Mittel zur Konzentrierung des Wasserstoffs wie beispielsweise einen Wäscher, eingeleitet. Aus dem  $H_2$ -Konzentrator 15 wird er im Verdichter 17, sofern erforderlich, nochmals verdichtet, bevor er in die mit relativ reinem Wasserstoff (also  $H_2O$  und  $CO_2$ -abgereichertem) betriebene SOFC 2 eingeleitet wird. Das Anodenabgas aus der SOFC 2 wird dann wiederum nach Durchströmen des rekuperativen Wärmetauschers 14' in die Feedgaszuleitung 13 eingespeist. Im betrachteten Beispiel ist die HTBZ 1 eine Brennstoffzelle nach dem Typ, der von der Anmelderin in der Patentanmeldung mit dem amtl. Aktenzeichen DE 195 45 186.4 Titel: "Verfahren zum Betreiben einer HTBZ-Anlage und HTBZ-Anlage" bereits in der Beschreibung offenbart wurde. Auf den Inhalt dieser Patentanmeldung wird hiermit zur Vervollständigung der vorliegenden Beschreibung verwiesen. Es ist jedoch auch möglich, daß die HTBZ 1 von dem Typ HTBZ ist, der von der Anmelderin in den bereits zitierten Anmeldung "Vorrichtung und Verfahren zur Wasserstoff- und/oder Synthesegask Gewinnung" beschrieben wurde, d. h. daß eine solche in dieser Anlage für die Reformierung und den Betrieb mit  $H_2$  denkbare HTBZ 1 isolierte integrierte Gasräume "IGR" hat. In diesem Fall geht nach dem Verdichter 17 die Leitung über einen rekuperativen Wärmetauscher durch die HTBZ 1 und führt dann über 14' in die SOFC 2.

Wie bereits erwähnt, verfügt die SOFC 2 über integrierte, aber gastechnisch isolierte Gasräume "IGR", die mit der Wärme-Kraft-Maschine 6 einen geschlossenen Kreislauf bilden und in denen das Arbeitsmedium der Wärme-Kraft-Maschine 6 erhitzt wird.

Eine Abschätzung des Wirkungsgrades einer solchen Kombinationsanlage aus SOFC-Reformer und einer Kombinationsanlage aus  $H_2$ -SOFC und WKM ergibt folgende Rechnung:

Zugrunde liegt zunächst ein folgendes System: In einen SOFC-Reformer mit Zellspannung  $0,7 \text{ V}$  werden 50 MW Methan ( $H_u$ ) mit Wasserdampf geschickt. Daraus entstehen  $20,86 \text{ MW}_{el}$ , abzüglich Verluste durch Wechselrichter ( $1,04 \text{ MW}_{el}$ ) und Luftverdichter ( $1,13 \text{ MW}_{el}$ ). Nach Abkühlung, Shift-Reaktion und  $CO_2$ -Wäsche verbleiben im Abgas  $22,92 \text{ MW}$  chemische Brennstoffleistung. Der elektrische Wirkungsgrad beträgt für die Differenz der chemischen Brennstoffleistungen

$$\eta_{el,SOFCR,netto,ac} = 69\%.$$

Die  $H_2$ -Abtrennung verbraucht bei chemischer Wäsche i.w. nur thermische Energie auf einem Niveau von  $120^\circ \text{C}$ . Es folgt für den Fall einer Kühlung mit Überschußluft:

$$\eta_{el,H_2SOFC,H_u} = [12,47 - 0,62 - 0,30 - 1,86] \text{ MW} / [22,92 \text{ MW} \cdot 0,8] = 52,9\%$$

dabei ist

12,47 die BZ-Bruttoleistung  
 0,62 der Verbrauch des Wechselrichters  
 0,30 der Verbrauch des H<sub>2</sub>-Verdichters  
 1,86 der Verbrauch des Luftverdichters  
 22,92 die Brennstoffleistung und  
 0,8 die Brennstoffausnutzung.

Im Fall der Kühlung mit Wärmekraftmaschinen von 40% elektrischem Wirkungsgrad sinkt die Luftverdichterleistung von 1,86 MW auf 0,56 MW und die WKM erzeugt 1,54 MW. Daraus ergibt sich für den umgesetzten Wasserstoff

$$\eta_{el,H_2SOFC\&WKM} = [12,47 - 0,62 - 0,30 - 0,56 + 1,54] \text{ MW} / [22,92 \text{ MW} \cdot 0,8] = 68,4\%.$$

Durch Rückführung des Überschußwasserstoffs ergibt sich 100%ige Brenngasausnutzung und eine zusätzliche Nettostromerzeugung von 1,14 MW im SOFCR und 1,99 MW in der H<sub>2</sub>-SOFC. Als elektrischer Gesamtwirkungsgrad auf Basis Methan ergibt sich damit:

$$\eta_{el,H_2SOFC} = 68,7\%.$$

Dies ist um 6,6%-Punkte höher als im Referenzfall ohne Abluftrückführung.

Der Hauptvorteil der Integration einer WKM besteht aber darin, daß sie ermöglicht, die SOFC bei höherer Leistungsdichte zu betreiben und damit die aktive Fläche bei gleicher elektrischer Leistung wesentlich zu verkleinern. Statt den Luftverdichter und dessen Stromverbrauch stark zu vergrößern, um die erhöhte Abwärme wegzubringen, treibt nun die Abwärme eine WKM an und erzeugt Strom bzw. treibt die Verdichter direkt an.

Die Integration der beiden Geräte, nämlich der Hochtemperatur-Brennstoffzelle und der Wärmekraftmaschine ermöglicht die Ausnutzung folgender Vorteile

a) die Hochtemperaturabwärme der Brennstoffzelle wird zur Stromerzeugung über die Wärmekraftmaschine genutzt. Der Bedarf an Hilfsenergie für die Kühlung der Hochtemperatur-Brennstoffzelle entfällt. Beides zusammen kann im Wasserstoffbetrieb zur Wirkungsgradverbesserung von bis zu 15% Punkten führen, im Erdgasbetrieb um Wirkungsgradverbesserungen bis zu 6%. (vgl. hierzu Fig. 4 und 5 und Beschreibungen dazu).

b) die Hochtemperatur-Brennstoffzelle kann bei höherer Leistungsdichte und damit geringeren spezifischen Investitionskosten betrieben werden. Der geringere elektrische Wirkungsgrad der Hochtemperatur-Brennstoffzelle wird in der Kombinationsanlage überkompensiert durch die Leistung der Wärmekraftmaschine.

c) Durch die Integration beider Geräte fallen somit die Zusatzkosten für die integrierten Gasräume der Hochtemperatur-Brennstoffzelle gegenüber einer normalen Hochtemperatur-Brennstoffzelle weg, da diese den Erhitzer bei der Wärmekraftmaschine bilden, der für die Wärmekraftmaschine sowieso notwendig ist.

#### Patentansprüche

1. Kombinationsanlage, bei der eine Brennstoffzellenbatterie, insbesondere ein Hochtemperatur-Brennstoffzellenbatterie, mit einer Wärmekraftmaschine kombiniert ist, wobei Leitungen und Räume vorgesehen sind, in denen das Arbeitsmedium der Wärmekraftmaschine zum Erhitzen in einem geschlossenen System durch das Innere der Brennstoffzelle geführt wird.

2. Kombinationsanlage nach Anspruch 1, bei der die Leitungen und Räume so konstruiert sind, daß sie Überdruck aushalten und ein Gas, gegebenenfalls in überkritischem Aggregatzustand, als Arbeitsmedium enthalten können.

3. Kombinationsanlage nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem das Arbeitsmedium in dem geschlossenen System unter hohem Druck bis zu 300 bar enthalten sein kann.

4. Kombinationsanlage nach einem der vorstehenden Ansprüche bei dem die Brennstoffzelle eine Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) mit einer Betriebstemperatur von 500°C bis 1000°C ist.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -



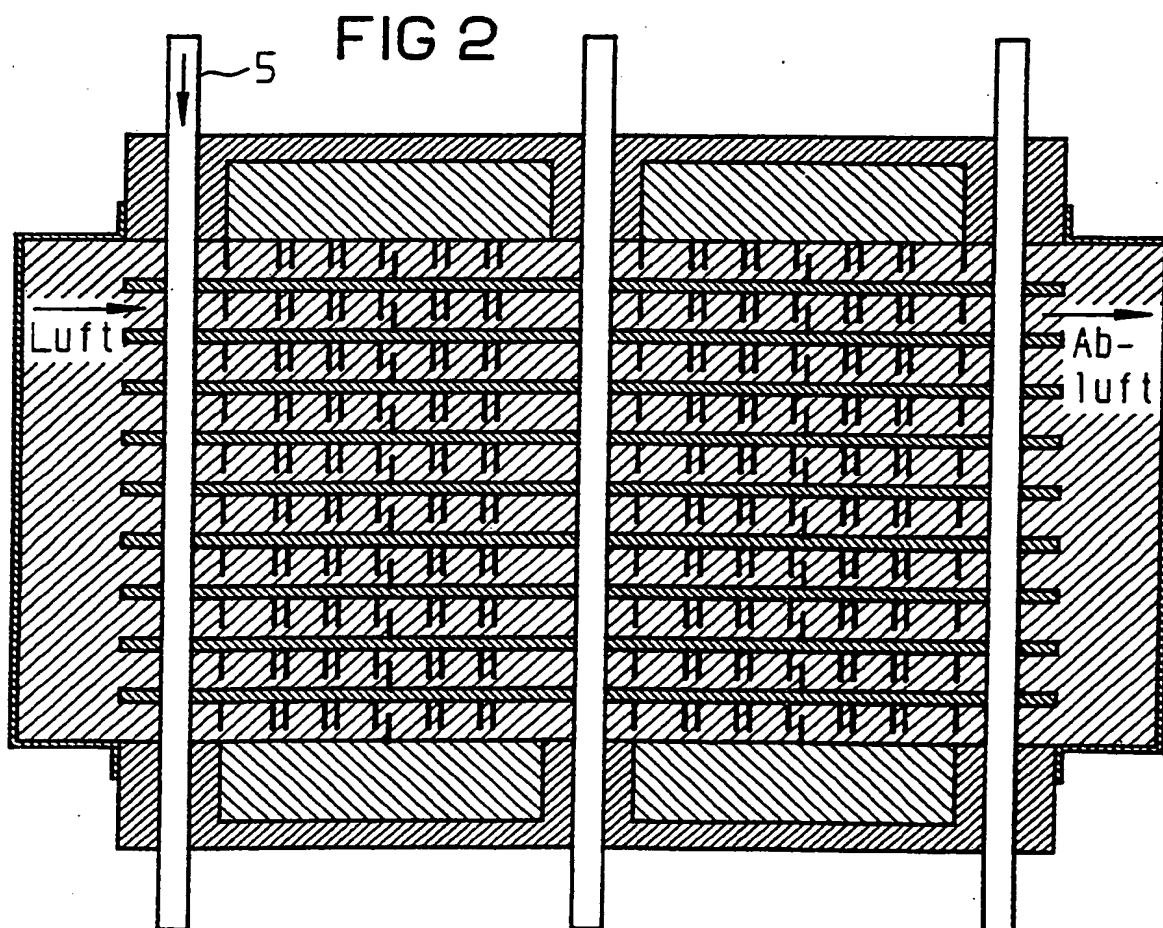
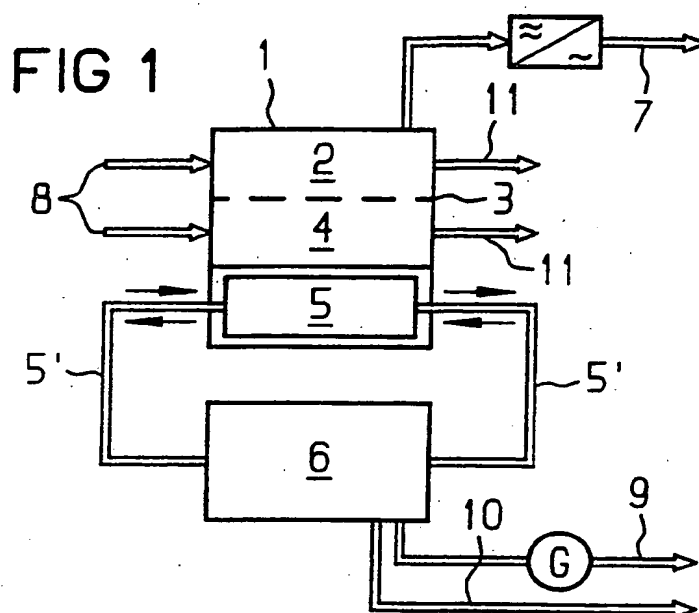


FIG 2A

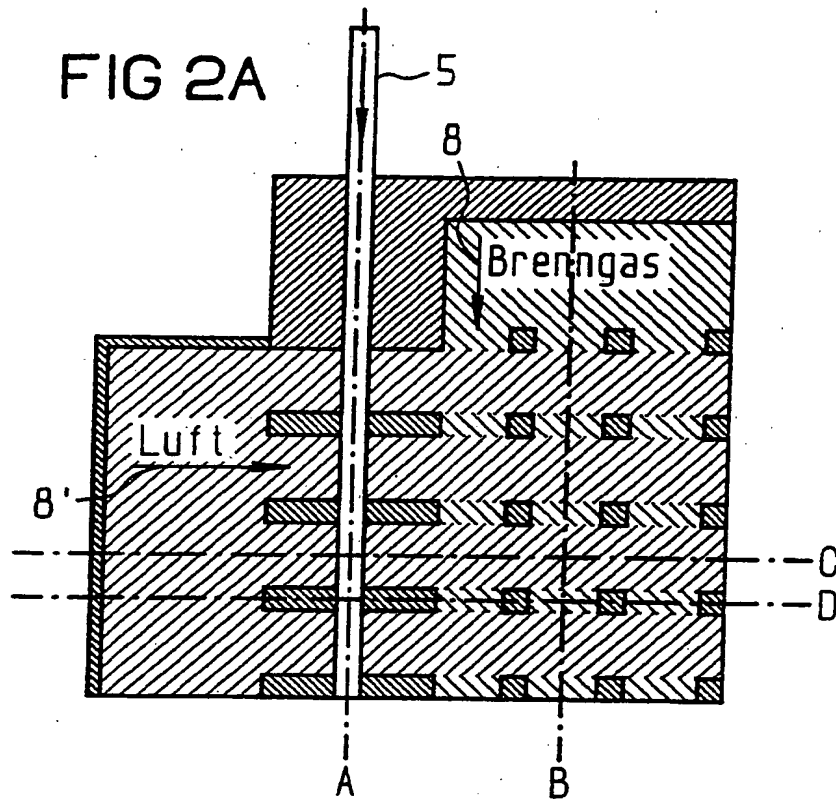


FIG 2B

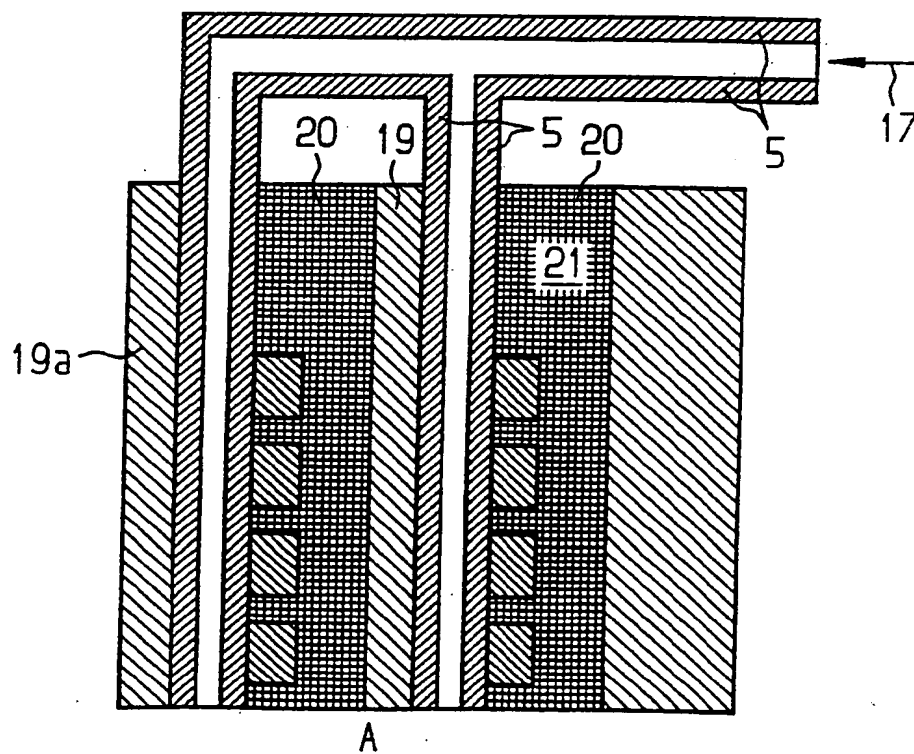


FIG 2C

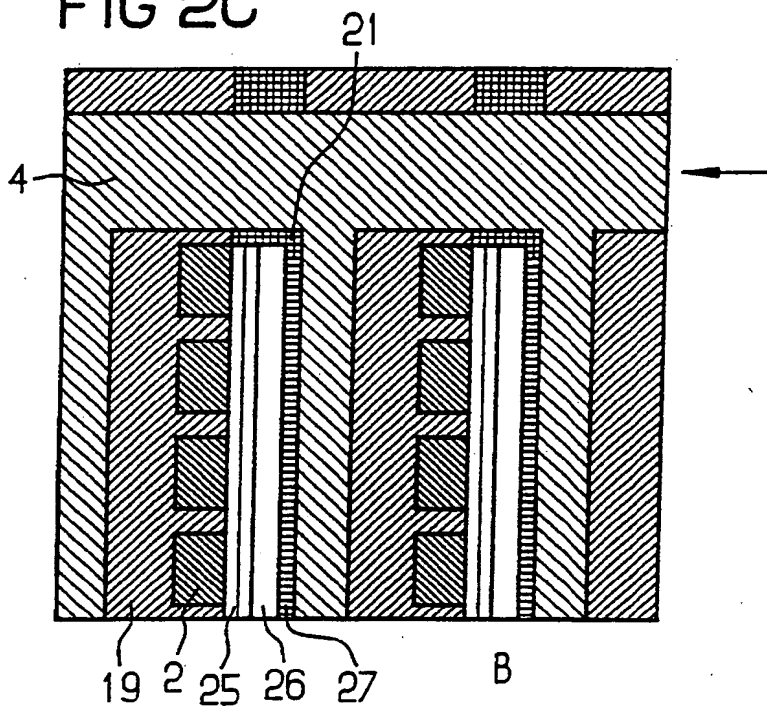


FIG 2D

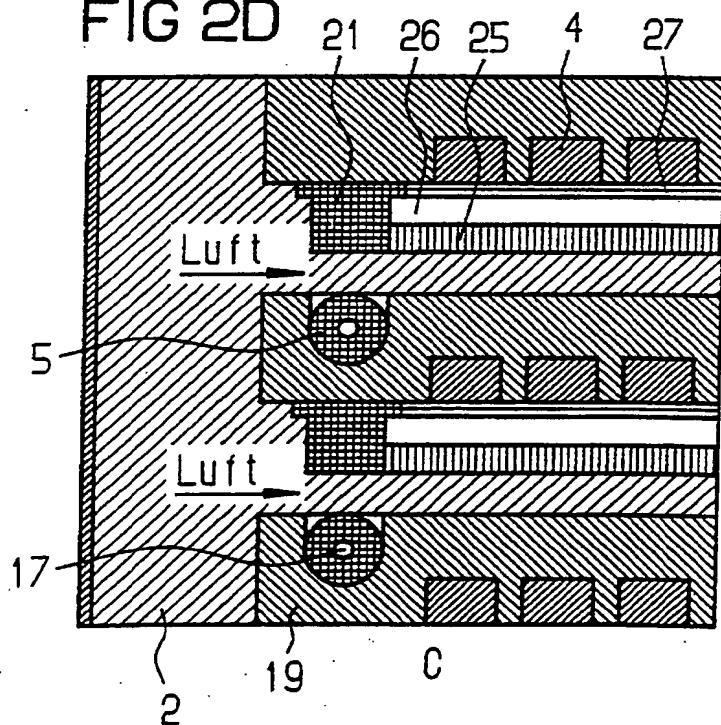


FIG 2E

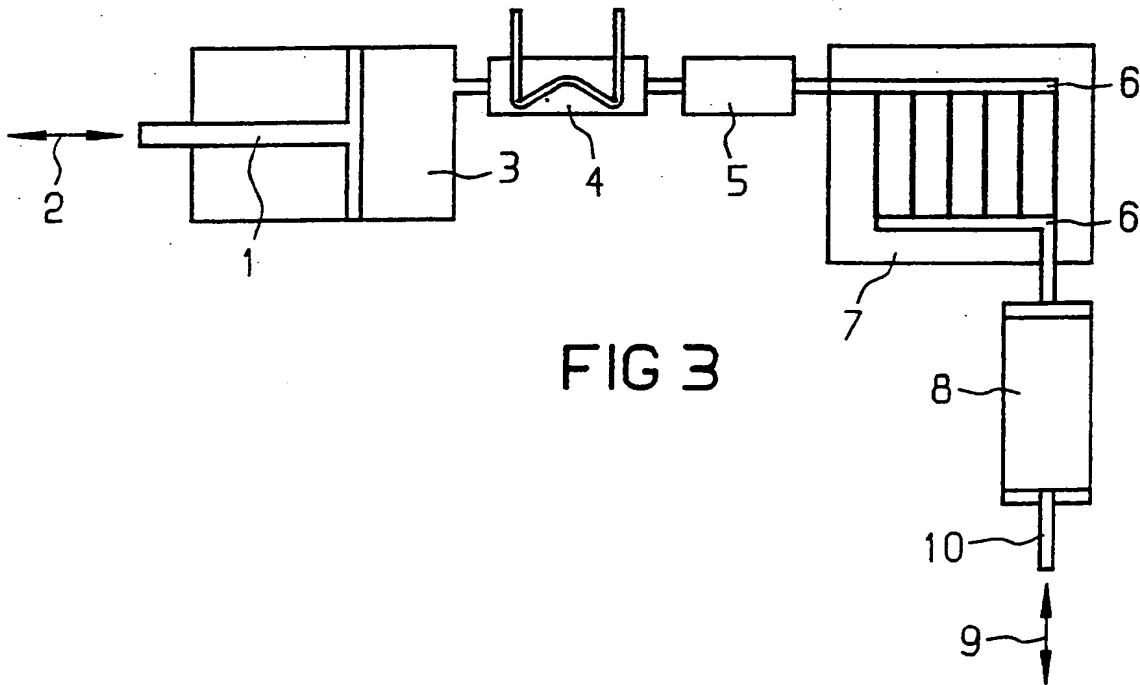
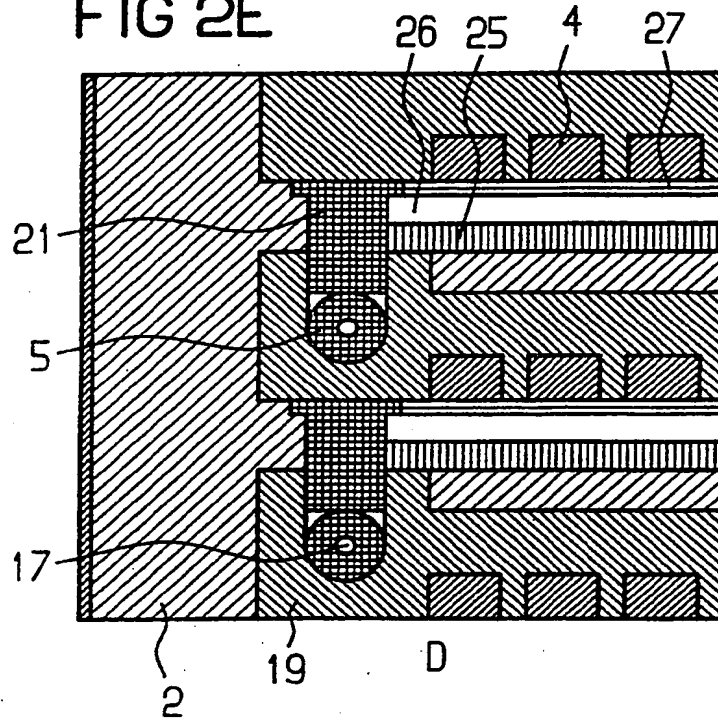


FIG 3

FIG 4

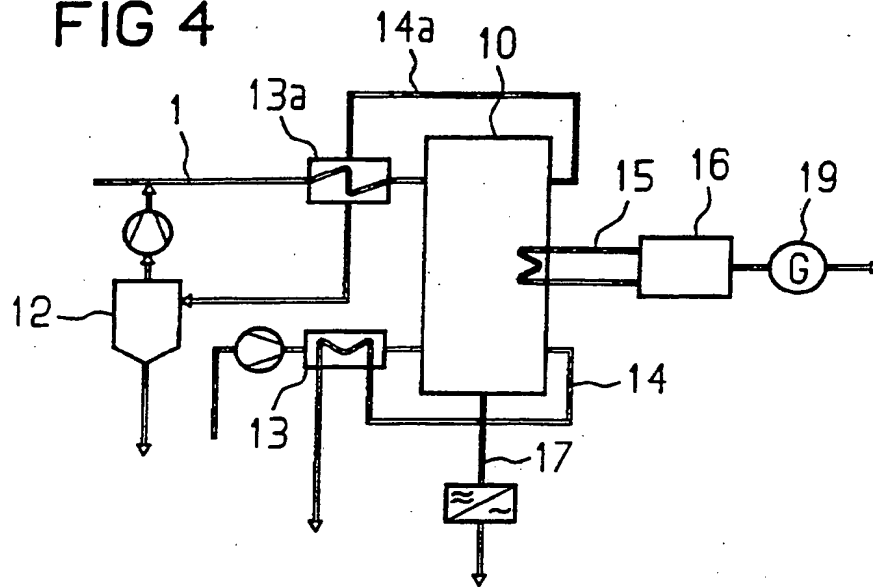


FIG 5

